宇宙航空の最新情報マガジン
JAXA's
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
機関誌
[ジャクサス]
No.074
October 2018
小惑星リュウグウ到着へ
「はやぶさ2」最初の挑戦

宇宙航空の最新情報マガジン

JAXA's CONTENTS

ジャクサス 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構機関誌

No.074 October 2018

Cover Photo:吉川真「はやぶさ2」プロジェクトチームミッションマネージャと、相模原キャンパス宇宙科学探査交流棟の「はやぶさ2」実寸大模型。2014年12月3日の打ち上げから3年半、「はやぶさ2」は目的地小惑星リュウグウに到着しました。着地点の候補も選定され、今後の活動が期待されます。最新情報などについては今号P3-5をご覧ください。

はじめまして。9月1日から広報部長となりました鈴木明子です。これからどうぞよろしくお願いいたします。

今年の秋は、JAXAの大型プロジェクトが次々と本番を迎えます。「はやぶさ2」の小惑星リュウグウへのタッチダウン、欧州宇宙機関との共同による水星探査機「みお」の打ち上げ、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき2号」の打ち上げなど気の抜けない日々です。JAXA'sの記事と合わせてご注目ください。

発行責任者
JAXA
(国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)
広報部長 鈴木 明子

JAXA's編集委員会
委員長 鈴木 明子
委員 青山 剛史
寺門 和夫
山根 一眞
山村 一誠
アドバイザー 的川 泰宣

編集制作
株式会社ビー・シー・シー
2018年10月1日発行

2018年7月20日に、ホームポジションと言われる高度20kmから高度を下げるBOX-Cと呼ばれる運用で、高度6kmまでリュウグウに接近して撮影した画像。

文:渡邊(わたなべ) 誠一郎(せいいちろう)
名古屋大学大学院 環境学研究科教授
「はやぶさ2」プロジェクトチーム
プロジェクトサイエンティスト

「はやぶさ2」小惑星リュウグウへの挑戦

「はやぶさ2」が小惑星リュウグウに到着し、その驚くべき姿を示してくれています。2005年に「はやぶさ」初号機が小惑星イトカワに到着したときも、頭部と胴体にもたとえられる二つの部分が合体した独特の姿に驚嘆させられたものですが、今回のリュウグウに対する驚きはそれとは違いました。「こま(独楽)」あるいは「そろばん玉」にたとえられるその形状は、惑星研究者にとっては見慣れた形だったのです。高速回転する小型小惑星には「こま型」が地上からのレーダー観測で、いくつも知られており、例えば、「はやぶさ2」と同時期に小惑星サンプルリターン探査を進めるOSIRIS-RExが向かっている小惑星ベンヌもその形をしています。それなのにわれわれが驚いたのは、リュウグウが自転周期が約7.63時間という比較的ゆっくりと自転する小惑星であるからです。見つかっている「こま型」小惑星の自転周期はベンヌこそ約4.3時間ですが、他はみな4時間を切る高速回転体なのです。均整の取れた「こま型」は自転により成形された可能性を示唆しますが、リュウグウの今の自転速度では説明できません。かつて高速自転をしていた可能性が高く、その進化が注目されます。

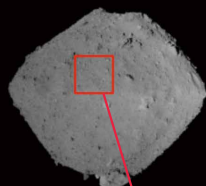
もう一つの驚きは、多数の岩塊(ボルダー)が表面を一様に覆っていることです。イトカワにも岩塊が多い領域はありましたが、岩塊がほとんど見当たらず、小石サイズの粒子に覆われた平原も共存していました。岩塊が少ない場所がないことはサンプル採取のための表面へのタッチダウンが難しいことを意味します。われわれは試料採取をする候補地点を選定しながら、この問題にどう対処するか頭を悩ましています。

意表を突く事実。しかし、これこそが小天体探査の真骨頂です。地上観測では存在さえもほのかな太陽系小天体は、近付いて初めてその基本的な様相がわかります。そして、太陽系形成時の記憶をほぼそのままとどめています。これが大きな惑星とは違うところです。全惑星が探査された今、こうした小天体に熱い視線が向けられるのは当然といえます。水や有機物を含むとされる(それさえ意表を突かれるかもしれませんが)C型小惑星を初めて精査するこの探査は、これまでの定説を塗り替えていく力を持っていると思います。

いよいよ、この難敵からゴール(=試料採取)を上げなくてはなりません。「はやぶさ2」の状態はほぼ完璧で、科学観測でウォームアップも完了しました。観測結果を迅速に処理する理学チームの的確な状況把握と運用訓練に裏打ちされた工学チームの信頼すべき判断によって、このミッションを成し遂げたいと思います。

「はやぶさ2」が撮影したリュウグウの全貌

2018年6月30日に、20㎞離れた地点（ホームポジション）から望遠の光学航法カメラ（ONC-T）で撮影したリュウグウ。

2018年8月7日に、高度1000mから広角の光学航法カメラ（ONC-W）で撮影したリュウグウ。赤枠部分が下の画像に対応。

2018年8月7日に、高度1000mから望遠の光学航法カメラ（ONC-T）で撮影したリュウグウの地表。

©池下章裕

「はやぶさ2」の 着地点 候補決定

文:吉川 真(よしかわ まこと)
宇宙科学研究所
宇宙機応用工学研究系准教授
「はやぶさ2」プロジェクトチーム
ミッションマネージャ

6月27日に小惑星リュウグウに到着して以来、「はやぶさ2」はリュウグウの観測を着々と行っています。最初は、ホームポジションあるいはBox-Aと呼ばれる高度20km付近から観測を行っていましたが、7月20～21日にはBox-C運用として高度6kmくらいまで降下しました。また、8月1日には高度5kmほどの中高度運用を行いました。そして、8月6～10日には、リュウグウの重力を計測するための降下運用を行い、8月7日には高度851mまでリュウグウに接近しました。これまでの観測で、全体形状や表面地形の特徴だけでなく、温度分布やその変化、可視光・近赤外線による表面物質のスペクトルの特徴なども分かってきました。この観測結果は、惑星科学において大きな進展をもたらすことになるでしょう。それと同時に、これらの観測データを使って、どこに着地するのかの検討も進められました。

「はやぶさ2」の場合、着地の検討は初号機の「はやぶさ」に比べて複雑になります。その理由は、探査機本体が表面に降りるタッチダウンに加えて、小型ローバのMINERVA-II(ミネルバ2)を3機、そして小型着陸機のMASCOT(マスコット)も表面に降ろさなければならないからです。タッチダウンも最大3回行う予定で、最後のタッチダウンの前には衝突装置(インパクタ)による人工クレーター形成も行います。これらすべてを考慮しなければならないため着地の検討は複雑になります。

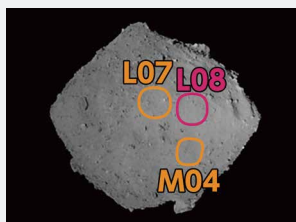
8月の時点で、まずは1回目のタッチダウンまでについての運用が検討されました。日本側およびMASCOTチーム側でそれぞれ議論を行い、さらに8月17日に全体での議論を行いました。そして、1回目のタッチダウンの候補地と、MINERVA-IIとMASCOTを降ろす候補地が決定されたのです。その場所を下の図に示しています。お互いの着地点が重ならないように調整されています。

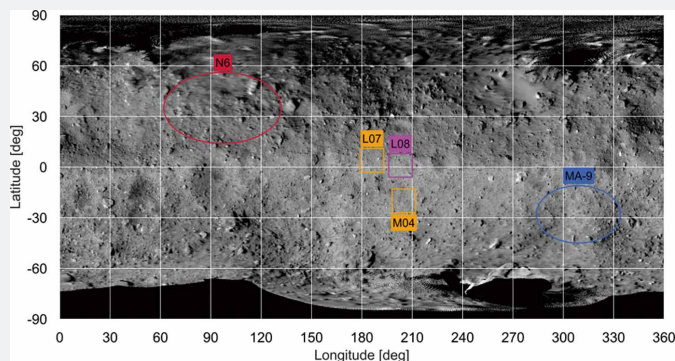
着地点選定において重要なことは、まずは安全性ですが、その他いろいろな条件、たとえば探査機の姿勢、小惑星表面の温度・日照、探査機の運用条件、サンプルから得られるサイエンス成果までも考慮して活発な議論が行われました。最も難しい点は、リュウグウが多数のボルダー(岩塊)で覆われているということです。つまり、安全に着地できる場所がすぐには見当たらないのです。とりあえず、最もボルダーが少なそうなところをいくつか選び、タッチダウン候補地点としました。

着地点候補が決まったことにより、スケジュールも検討されました。まず9月11～12日にタッチダウンに向けた1回目のリハーサル降下を行います。そして、9月20～21日にはMINERVA-II-1(3機のMINERVAのうちペアになっている2機)を、10月2～4日にはMASCOTを表面に降ろします。その後、2回目のリハーサル降下を10月中旬に行ったうえで、1回目のタッチダウンを10月下旬に行う予定です。

ボルダーが多いため安全なタッチダウンができるかどうかが今後の焦点となります。まずは1回目のリハーサル降下で、タッチダウン候補地の表面の状況を詳しく確認します。ミッションの最初の山場にむけて今、緊張が高まってきています。

(2018年9月7日現在)

©JAXA、東京大、高知大、立教大、名古屋大、千葉工大、明治大、会津大、産総研

©JAXA、東京大、高知大、立教大、名古屋大、千葉工大、明治大、会津大、産総研

上と右の画像のL08と示された領域がタッチダウンの候補地で、L07とM04がバックアップとして選ばれた候補地です。右画像のMA-9がMASCOTの着地予定領域、N6がMINERVA-II-1の着地予定領域になります。

JAXA×DBJ トップ対談

やまかわ ひろし
山川 宏
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
理事長

わたなべ はじめ
渡辺 一
株式会社 日本政策投資銀行
代表取締役社長

日本の宇宙航空産業の振興

JAXAとDBJの協力協定から見えてくるもの

竹森　本日は変革期を迎えた日本の宇宙産業とJAXA、DBJの役割についてお話しいただきたいと思います。それでは、よろしくお願いいたします。

渡辺　DBJは2016年に航空分野で、2017年に宇宙分野でJAXAと協力協定を結ばせていただきました。これから発展していく産業に、ある程度のリスクを取っても資金を供給して伸ばしていくことが、私たちの一つのミッションになっております。そうした中で、2017年度からの私たちの中期計画において、新たに重点的に取り組む分野を四つ選びました。その一つが航空宇宙分野です。航空宇宙分野は裾野が広く、非常に可能性があると考えておりまして、2017年度から航空宇宙室を立ち上げて、新しい分野にチャレンジしているところです。

山川　JAXAではこの4月から第4次中長期計画がはじまりましたが、その中の大きな目標の一つが産業振興です。宇宙開発の持つ夢や希望という面を忘れずに、しかし一方で産業の振興という面についても両立させ、日本の宇宙産業規模を2030年代早期に倍増するという政府の方針を実現したいと思っています。

竹森　宇宙産業は今、変革期を迎えているのではないかと思っておりますが、山川理事長、いかがでしょうか。

山川　宇宙と聞くと、手の届かない所というイメージがまだ先行していますが、だんだん変わってきています。これまでの世界の宇宙開発は国威発揚という側面が強かったのですが、今は宇宙が生活に根付いていく時代になってきています。その背景には、宇宙技術が成熟してきて、生活に実際に使えるさまざまなサービスが提供されるようになってきたことがあります。同時に、コストダウンが進んできたということもあると思います。

渡辺　私もいろいろな資料を読ませていただき、やはり今、大きな変革の時期を迎えていると考えています。一つは、理事長がおっしゃられたように技術の革新です。例えばビッグデータの解析技術が飛躍的に向上して、小型衛星のコンステレーションで膨大なデータを集め、それをきちんと解析することが可能になりつつある。そういった状況でコスト低減もあいまって、民間の企業が宇宙に参入してきている。技術の飛躍的な進歩と民間の参入。特にベンチャー企業の参入。これは本当に面白いことだと思います。

山川　アメリカにおいては、ベンチャー企業のスペースXが政府系の衛星を打ち上げるという時代にまでなっています。かといって、日本が決定的に遅れているかというと、そうではなく、ここ数年で20社ほどベンチャーが立ち上がりました。代表的なものとしては、宇宙資源ビジネスを目指すispace、高精度測位サービスを行うGPAS、超小型ロケットの打ち上げ事業を行うスペースワン、スペースデブリ(宇宙ごみ)の除去をビジネス化するアストロスケール、超小型衛星をたくさん打ち上げて地球観測画像をビジネスにしていくアクセルスペースなどがあります。

大切なのは「信用」と「結節点」

竹森　そうした中でのJAXAとDBJの役割とはどのようなものなのでしょうか。

山川　JAXAがDBJとこうやってパートナーになるというのは画期的なことです。JAXAは産業振興という大きな使命を持っていますが、産業界全体を見渡し、成長が期待できる宇宙ビジネスを見極める目利きの力はそれほど高くないのが実情です。また、JAXAには民間企業に投資するという機能がありません。そういったところはDBJのお力をお借りする必要があります。技術で攻めるJAXAと金融で攻めるDBJがタッグを組めば、お互い単独ではできないことが合わさって、1+1が3以上になる。まさにそういった世界を作るこ

Hiroshi Yamakawa

国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟「きぼう」。ここで行われているタンパク質結晶生成実験や船外実験プラットフォームを使った技術実証などの成果がさまざまな分野で社会に貢献している。

水循環変動観測衛星GCOM-W「しずく」は、地球上の海水温度をはじめ、さまざまな「水」に関するデータを観測している。このような地球観測衛星のデータは防災などだけでなく、漁業などの分野での活用も進んでいる。

宇宙ベンチャー企業の増加、国際宇宙ステーション（ISS）日本実験棟「きぼう」での科学実験の成果、衛星からのデータの地上利用拡大など、日本の宇宙航空分野はここ数年、変革と躍進の時代を迎えています。これからの日本の宇宙航空産業の振興について、JAXA山川宏理事長と株式会社日本政策投資銀行（DBJ）の渡辺一社長に語っていただきました。

聞き手　竹森（たけもり） 祐樹（ゆうき）　株式会社 日本政策投資銀行　航空宇宙室長
文：寺門 和夫（科学ジャーナリスト）

を技術と金融の力でリード

とができると考えています。

渡辺　航空分野は航空機エンジンの開発や機体の製造を30年近く支援して参りましたので私たちもそれなりに各企業を結ぶ結節点となる能力を持っているのではないかと思います。宇宙分野はこれからですが、JAXAからいろいろな知見を頂き、そういった結節点になりたいと思っています。JAXAと提携させていただき、技術的なことをJAXAに相談できるようになったことは、私どもの信用の非常に強いバックボーンになっています。これからいろいろな連携ができれば、宇宙航空分野の産業は大きく伸びるのではないかと思っています。

山川　今、おっしゃった中で、私の心に響いたのは、「信用」そして「結節点」という言葉です。JAXAから見ても全く同じで、JAXAが宇宙業界の外に出ていくためには、やはり信用というものが必要です。その時にDBJと一緒にやっていることが信用につながると私は理解しています。JAXAとDBJの持っているネットワークは一部は重なっていても、かなりの部分は違う所に広がっています。その両者のネットワークの結節点をさらにつなげていくことが非常に重要ではないかなと思います。

結節点ということで一つ例を申し上げますと、最近、宇宙と水産業とのつながりが非常に強くなっています。JAXAの人工衛星は海面の温度を計測することができます。漁船の漁労長さんがそのデータを見ると、魚のいそうな場所を知ることができ、漁場に漁船を直行させることができる。そうすると、燃料を大幅に節約することができるのです。宇宙業界の人だけでは絶対に思いつかないことが、現場の方と話をすることでその使い方が分かり、新しいビジネスが生まれる。そういった結節点を、これからDBJとJAXAの間でうまく広げていきたいと思っています。

渡辺　衛星からのデータ利用も、いろいろな意味でまだ可能性があるでしょうし、その成果は既存の産業にも影響を与えるかもしれません。私たちが考えもしなかった使い方があるでしょうね。私たちのお取引先へいろいろご相談できる可能性はあると思います。

宇宙の産業活動と地上の生活がつながる未来に

竹森　宇宙産業の将来像について伺います。まずは、渡辺社長からお願いします。

渡辺　先ほど理事長がおっしゃったように、宇宙技術には何に使えるかが未確定な部分がある。つまり、これから大きな可能性があるというのが宇宙分野の魅力だと思っています。10年後、20年後にどうなっているかがすべて分かってしまうと、逆に魅力がなくなってしまいます。宇宙というのはそういう分野なのではないでしょうか。私たちがJAXAと提携させていただいてやるべきことは、そういった技術の情報をいただき、その情報を使って宇宙の産業界をきちんと応援していくということだと思います。応援とは、資金はもちろん、それ以外にもベンチャーを大きな企業につなげるなど、経済を動かしている企業に寄り添ってご支援をしていくというのも自分たちの使命かなと思っています。

竹森　山川理事長、いかがでしょうか。

山川　宇宙というのは少し遠いだけで、特別な場所ではないと思っています。ですから現在地上あるいは空の領域で行われている産業活動は、宇宙空間でも当然ながら展開していけるはずだと思っています。一方で、忘れてはならないのは、そうは言いつつも、われわれの生活は20年後、30年後も地上がメインでしょうから、地上の生活あるいは地上の産業とどうつなげていくかというのが、やはり大きなポイントになるのではないかなと思います。ほんの2年前、3年前までは考えられなかった宇宙機関と金融機関の協力というのはものすごく大事なことだと思っています。これからネットワークの結節点として、ネットワークを広げていくところを、ぜひ一緒にやっていけたらと思いますので、どうぞよろしくお願いします。

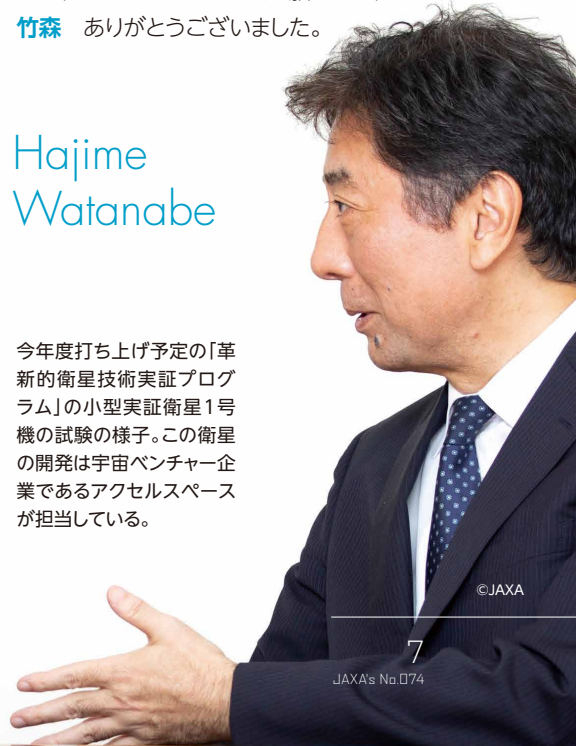
竹森　ありがとうございました。

Hajime Watanabe

©JAXA

©JAXA

今年度打ち上げ予定の「革新的衛星技術実証プログラム」の小型実証衛星1号機の試験の様子。この衛星の開発は宇宙ベンチャー企業であるアクセルスペースが担当している。

©JAXA

かないのりしげ
金井宣茂宇宙飛行士帰還インタビュー

©JAXA

ISSでの168日間のミッションを振りかえる

2018年6月3日、金井宣茂宇宙飛行士は、168日間の第54次/第55次ISS(国際宇宙ステーション)長期滞在ミッションを終え地球に帰還しました。医学研究やライフサイエンス実験を行い、船外活動やドラゴン補給船キャプチャ成功などで、日本人宇宙飛行士のプレゼンスを高めました。金井宇宙飛行士に長期滞在ミッションについて話を聞きました。

取材・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

宇宙環境がヒトに与える影響を調べることの重要性

—— 今回のミッションを振り返って、特に印象的だったのは何ですか。

金井　私は医師ですので、宇宙における身体の変化とか、身体にかかる負荷に非常に興味を持っていました。知識がある分だけ少し不安に思っていたこともあったのですが、宇宙は意外に普通という感じで、宇宙酔いもほとんど経験せずにすぐ仕事に入れました。最初は微小重力環境でフワフワ浮いているのが不思議な感じでしたが、それも1週間すると慣れてしまいました。ただし帰ってきた時には、こんなに体が動かなくなるものなのかと感じました。地球の重力環境に再適応することが想定外に難しく、そこに驚きがありました。

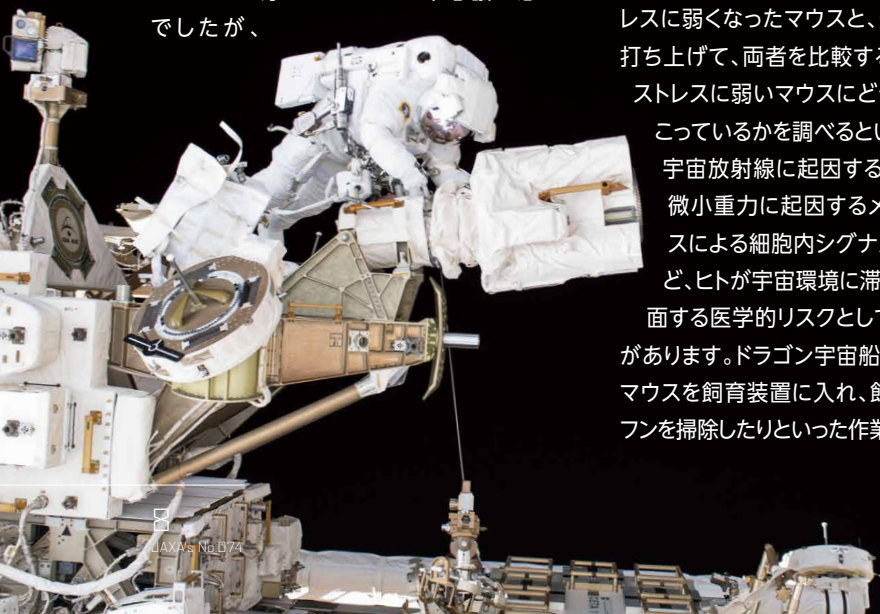
—— 今回のミッションは「健康長寿のヒントは宇宙にある」がキャッチフレーズになっており、医学研究やライフサイエンス関連の実験も多かったと思います。中でも「小動物飼育装置」を使ったマウスの長期飼育ミッションは多くの人から注目されましたね。

金井　遺伝子欠失(ノックアウト)で宇宙ストレスに弱くなったマウスと、通常のマウスを打ち上げて、両者を比較することによって、ストレスに弱いマウスにどういう変化が起こっているかを調べるという実験でした。宇宙放射線に起因する酸化ストレスや微小重力に起因するメカニカルストレスによる細胞内シグナル伝達の乱れなど、ヒトが宇宙環境に滞在した場合に直面する医学的リスクとして、宇宙ストレスがあります。ドラゴン宇宙船で運ばれてきたマウスを飼育装置に入れ、餌を交換したり、フンを掃除したりといった作業を行いました。

—— 自分ではストレスがないと思っていても、宇宙飛行士は軌道上でいろいろなストレスを受けているものなのでしょうか。

金井　おっしゃるとおりです。私も自分自身の感覚で宇宙生活は平気だったとお話ししましたが、実は私もいろいろな医学検査に参加しました。微小重力環境は地球上にはない、とても特殊な環境ですので、そこで人間や生物の体に何が起こるかは分かっていないことが多いのです。そこを突き詰めて調べていくと、これまで分かっていなかった人間の体のさまざまな働きが見えてきたり、地球上の病気の予防に役立ったりするのではないかと期待しています。また、将来人類が宇宙に進出していくための知識にもなってくるのではないかと思います。

—— 今回のマウス飼育ミッション結果を地上でいろいろ調べると、ヒトが健康長寿で暮らせるための役に立つということですね。

金井　そのとおりです。私たちはよく言うのですが、宇宙での実験には地球人のための医学という側面と、宇宙人、つまり宇宙に進出する人類のための医学という二つの側面があるのです。

星出宇宙飛行士以来の日本人4人目となる船外活動(EVA)を実施。
©JAXA/NASA

写真左：金井宇宙飛行士の実施したAsianTryZero-Gの実験を筑波宇宙センターで見守るインドネシア、シンガポールの学生たち。
写真右：「きぼう」の細胞培養装置（CBEF）を使い行われたアミロイド線維形成実験。

©JAXA

©JAXA/NASA

「きぼう」の優れた環境で広がる宇宙実験の可能性

―― 小動物飼育装置について、もう少し伺います。この実験装置は1匹ずつ飼う仕組みになっているのと、0Gから1Gまで重力を変えることができる点が、NASAなどの飼育装置と違いますね。

金井　そうですね。0Gから1Gの間の重力をパーシャルGといいますが、この装置で0Gから1Gまでのどの重力でも飼育環境を作るところが、まさにJAXAの強みになっています。月の重力は地球の6分の1、火星は3分の1です。今、月や火星への国際的な有人探査の話が進んでいます。そういった中でパーシャルGの実験はこれから重要になってきます。すでにその機能を持っているJAXAの小動物飼育装置を活用することで、次のステップにいち早く移行できるのではないかと期待しています。

―― 他にどういう実験をしたのですか。

金井　JAXAのお家芸の高品質タンパク質結晶生成実験を二つ担当しました。また、似たような実験で、アミロイドという繊維状のタンパク質を成長させてそれを地上で調べるというものもありました。体内でアミロイド線維が形成されるとアルツハイマー病や糖尿病などの原因の一つとなることが知られています。ミッション前にPI（研究代表者）である自然科学研究機構の加藤晃一先生を訪問して勉強させていただいたこともあり、自分でも非常に面白いと思う実験でした。

―― 金井さんは自分で行う予定の実験について地上で何度も訓練したり、PIの先生方のところを訪ねたりしていました。それ自体も楽しかったのではないですか。

金井　楽しかったですね。宇宙飛行士は実験のすべての作業を行うわけではなく、一部分だけを担当するので、どういう実験なのかよく解らないこともあるのです。しかし、その実験の目的や背景などをあらかじめ知っていれば、届けられたサンプルを装置にセットするだけの単純作業でも、非常にワクワクするものなのです。

―― 「きぼう」での実験をいろいろな形で役に立ててほしいと思いますね。

金井　「きぼう」の実験が始まった頃は、長い時間をかけて準備しなければならなかったのですが、今は宇宙実験の方式が決まっていて、どんどん次の実験を行うことが可能になっています。実験機会が増え、かつ比較的安価になりました。「きぼう」は広いですし、静かですし、素晴らしい実験施設です。日本は2024年までのISS計画への参加は決めていますが、技術的にはまだまだ運用できるので、もっとアップグレードすれば、さらにいろいろな実験を行うことができるのではないでしょうか。

―― そのほかに印象に残っている実験は何ですか。

金井　簡易曝露実験装置（ExHAM）を使った実験ですね。「きぼう」の船外実験プラットフォームを活用して、いろいろな材料を宇宙空間にさらして特性の変化などを検証するという実験です。非常にシンプルですが、すごく有効ですし、たくさんのサンプルをいっぺんに付けられます。日本に限らずアジアのさまざまな国にも参加していただいて、こうした実験ができるのは本当に素晴らしいと思います。

アジアの国々に開かれる宇宙

―― 船外活動も行いましたね。宇宙空間に出てみた感じはどうだったですか。

金井　正直言ってちょっと怖い感じがしました。NASAではプールの中でたくさん訓練したのですが、プールの中にはサポートのダイバーがたくさんいて、結構にぎやかなのです。しかし実際の船外活動では、NASAのマーク・ヴァンデハイ宇宙飛行士と二人っきりで真っ暗な宇宙空間の中にいます。何か失敗しても誰も助けてくれないというプレッシャーの中で作業しました。

―― そうは言いながらも、船外活動は非常に順調に進みましたね。NASAのジョンソン宇宙センターからは星出彰彦宇宙飛行士が支援していました。

金井　星出宇宙飛行士自身も船外活動の経験がありますので、状況を的確に把握していますし、何をどういう時に伝えればいいかも分かっているので、とても助かりました。船外活動は宇宙飛行士の仕事の中でも一番と言ってもいいくらいの花形の仕事です。それを任せてもらえたのは、本当にありがたいと思います。日本人宇宙飛行士のこれまでの仕事が評価されたのだと思います。

―― Asian Try Zero-G 2018というアジアの若者と一緒の実験もありました。

金井　日本人宇宙飛行士がずっと担当しているミッションですが、だんだんバージョンアップしてきました。イベントのようなとらえ方をされていますが、もはや普通の宇宙実験と変わりません。宇宙が広く使われ、開かれていくのはすばらしいことです。アジアのいろいろな国に「きぼう」を利用してもらえるのは日本にとっても価値のある活動ではないかと思います。

次の世代に宇宙での感動をつないでいく

―― 帰還してリハビリ期間も終わりました。次の目標は何でしょうか。

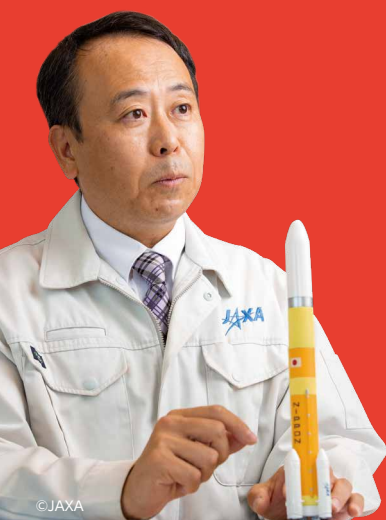
金井　2019年から2020年には、野口聡一宇宙飛行士と星出彰彦宇宙飛行士のISS長期滞在が続きます。この二つのミッションを地上でサポートする担当になると思いますので、まずはこれらのミッションを成功させることが目標です。もう一つ、宇宙飛行士としてこれからどうやって日本の宇宙開発に貢献できるかをしっかりと考えていきたいと思います。

―― これから若い人たちに接する機会が増えると思います。どんなことを伝えたいですか。

金井　若い世代の方にどんどん宇宙の場で活躍していただきたいと思います。私が宇宙飛行士としての訓練を受けていた時に、山崎直子宇宙飛行士が搭乗したスペースシャトルの打ち上げを見せていただきました。打ち上がって間もなく、山崎さんから「Space is waiting for you（次はあなたの番だからね）」という電子メールをもらって心が震えた記憶があります。私も子供たちや若者に「Space is waiting for you」と伝えたいと思います。

©JAXA

H3プロジェクト前進へ

H3ロケット用固体ロケットブースタ SRB-3燃焼試験成功!

2018年8月26日、種子島宇宙センター竹崎固体ロケット試験場において、H3ロケット用固体ロケットブースタ(SRB-3)の燃焼試験が行われました。第一宇宙技術部門H3プロジェクトチームの名村栄次郎ファンクションマネージャに、SRB-3の燃焼試験やH-IIA、H-IIBロケットで使用しているSRB-Aからの改良点、今後の計画などについて話を聞きました。

取材・文:水野 寛之

名村 栄次郎(なむら えいじろう)
第一宇宙技術部門
H3プロジェクトチーム
ファンクションマネージャ

H3ロケットのイメージCG。用途により、SRB-3を0本、2本、4本使用するパターンが検討されている。

計画通りの燃焼試験データを良好に取得

――最初の燃焼試験が完了しました。

名村　気象条件の問題で一度延期しましたが、試験には自信を持って臨みました。固体ロケットであるSRB-3は、液体ロケットとは異なり、一度燃焼が始まると、途中で止めることはできません。やり直しがきかないので、試験に使用するロケットモータはもちろん、計測器も万全の状態で試験に臨まなければなりません。やり直しができないからこそ、慎重に丁寧に準備を整えました。

試験では、燃焼時間や燃焼の圧力、推力などのデータを計測しました。試験結果の速報値からは、設計予測に沿った性能を表すデータが取得できました。

今後、試験で使われたプロトタイプモデル(PM)は、モータケース内面やノズルの状態などを確認します。詳細な評価を数カ月かけて実施します。今回の試験結果を受けて、認定モデル(QM)を製作し2回の燃焼試験を行う予定です。

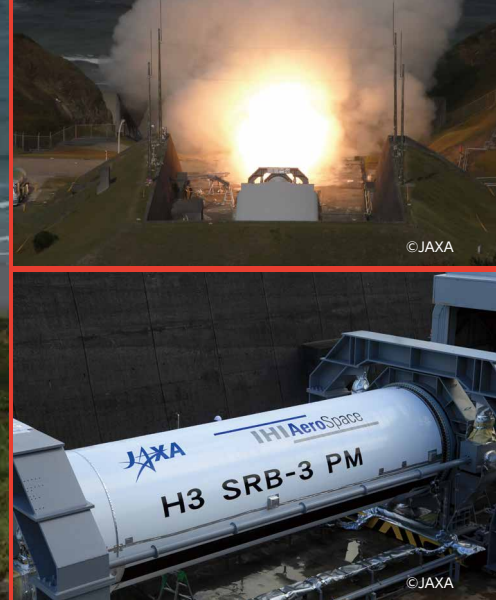
――H3ロケットにおけるSRB-3の役割とはどのようなものですか?

名村　SRB-3のような固体ロケットブースタ(SRB)は、メインロケットの推力を補助する役割を担います。リフトオフ直後のロケットは、推進薬(燃料)も満タンに入っているので重い状態で、重力や大気の抵抗も大きいため効率的に加速する必要があります。H3の場合、SRB-3を0本、2本、4本使用するパターンを検討しています。SRB-3が0本、つまりSRB-3を使わない場合には、GTO(静止トランスファー軌道)に運べる重量は約2トンですが、4本使えば約6.5トンまで打ち上げることができます。SRB-3の1本当たりの推力は、約2,000kNです。

20年後でも通用する設計に挑戦 製造工程から見直しコスト削減も

――SRB-Aからかなり改良されているようですね。

名村　H3の開発と同時にイプシロン・ロケットとのシナジー開発に取り組みました。見た目はSRB-Aとあまり変わりませんが、部品の構成やモータケース、あるいはノズル、分離機構など、20年後でも通用する設計になるよう挑戦した部分もあります。SRB-3のモータケースのサイズはSRB-Aと同じですが、推進薬の量を約1トン増やしています。燃焼パターンなどを工夫して実現したのですが、これによって打ち上げ能力が増えています。SRB-Aは、2本形態と、4本形態の二つの燃焼パターンがありましたが、SRB-3ではそれをひとつにしました。SRB-3を2本使う場合と4本使う場合、そしてイプシロンで使う場合と、いずれの打ち上げにとっても最適なパターンを作り、なおかつ推進薬の量を増やした点が大きな工夫ポイントですね。

ロケット本体との結合・分離方法も、スラストストラットと分離モータを用いた方式から、スラストピンと火薬による分離スラスタを用いた方式に変更しています。まず、H3ロケットがどうあるべきかを考え、そこからSRB-3の結合・分離方式やモータケースを設計

左、右上は種子島宇宙センター竹崎固体ロケット試験場にて実施されたSRB-3の燃焼試験の様子。右下は試験場に据えられたSRB-3のプロトタイプモデル外観。
この燃焼試験の記録映像が「ファン!ファン!JAXA」サイトでご覧いただけます。
http://fanfun.jaxa.jp/jaxatv/detail/12496.html

していった結果です。

また今回、設計だけでなく製造工程から見直してコスト低減を行いました。製造・検査の自動化など、地道にコツコツとコストの削減に努めました。燃焼パターンを一つにしたことも、必要となる治具や保管場所などを集約できるので、コストダウンにつながっていると思います。

—— 燃焼パターンとは、どんなものなのでしょうか。

名村　推力の時刻暦のことです。最初はロケットが重いので、一気に高い推力が出るように燃焼させます。ロケットが上昇すると、重量と空力とのバランスで負荷がかかるようになるので、若干推力を抑えます。空気が薄くなったら、再び推力を高めるようになっています。

SRB-Aを運用してきた知見が思い切った開発に活かされた

—— SRB-Aでは可変だったノズルが固定になりました。制御は難しくなったのですか。

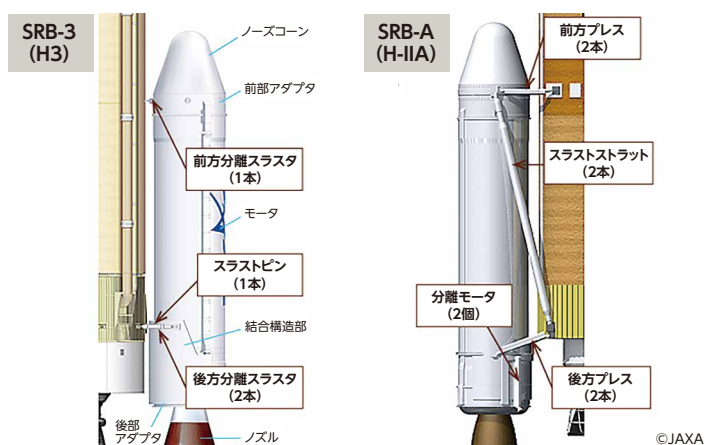
名村　H3としてのコストや信頼性などのバランスを考慮し、H3のメインエンジンであるLE-9に姿勢制御の役割を持たせるように設計しました。H-IIAではメインエンジンは一つでしたが、H3では二つ以上付いていますので、1段機体側の制御力が向上しています。

—— SRB-Aを運用してきた知見がSRB-3の設計に活かされていますね。

名村　H3ロケットとして、どういうブースタが良いかを検討する中で、もう一回り小さいブースタも検討したのですが、SRB-Aを製造・運用してきた中で培った技術や経験、設備を活かすために同じ大きさが最適だという形になりました。

また、世界的にもトップクラスの高い燃焼圧を持った固体ロケットモータであるSRB-Aを100本以上作って運用してきた経験が、SRB-3の開発にあたっては、材料の厚みを減らしたり形状を工夫したりといった思い切った挑戦につながりました。

—— 今後の予定を教えてください。

認定モデルを使った地上燃焼試験を、2019年度に2回行う予定です。そのうちの1回は、イプシロンで使用する可動ノズルの試験を行います。また、早ければ今年度末あたりに、実物大の模型を使った分離機構の試験を行いたいと考えています。平行してノーズコーンやモータケース、H3に接続するためのアダプターなどの構造系の強度試験を2018年度から2019年度にかけて行います。これらの試験が完了する2019年度後半から、いよいよ実機製造となり、2020年度の開発完了を目指します。

SRB-3とSRB-Aの第1段機体と結合・分離する機構の違い。

航空機の見えない敵

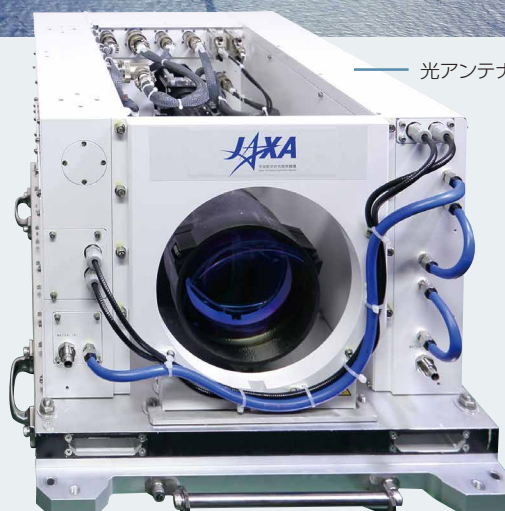
晴天乱気流をキャッチする

Boeing ecoDemonstrator PROGRAMへの参画

JAXAでは、乱気流事故防止機体技術の実証(SafeAvio)プロジェクトにより、晴天乱気流による航空事故半減を目指した晴天乱気流検知システムの開発と飛行実証を行っています。2018年3月〜4月には米国ボーイング社のecoDemonstrator PROGRAM(エコデモンストレーター・プログラム)を通じて、このシステムを大型機に搭載した飛行試験を実施しました。

飛行試験で使用した機体、FedEx社所有のB777f (機体番号 N878FD)
Boeing社のweb: http://boeing.mediaroom.com/より

写真提供:Boeing

■乱気流検知システム
JAXAが開発した晴天乱気流検知システムの航空機搭載型ドップラーライダー。機体前方に放射したレーザー光を大気中に浮遊するエアロゾル粒子に当て、散乱光を受信。エアロゾル粒子の移動速度に急激な変化があると、そこに乱気流があることが分かる。

事前に乱気流を察知 航空事故の低減を目指す

国土交通省運輸安全委員会の航空事故調査報告書の情報を基に分析したところ、我が国の過去10年の航空事故のうち、50%超が乱気流を原因としています。現在の旅客機は事前の気象予報や機体に搭載した気象レーダーを使用することにより、雨雲を伴った乱気流をある程度予測することは可能ですが、雨雲を伴わない乱気流(晴天乱気流)を事前に察知することは困難です。もし事前に乱気流を察知することができれば、乱気流のエリアを迂回したり、シートベルト着用サインを出したり、客室サービスを中断するなど、さまざまな対応が可能になるため、事故の低減が期待できます。

これまでJAXAではこの乱気流事故防止機体技術の実証プロジェクト(SafeAvio)を通じて、航空機搭載型としては世界トップの乱気流検知距離(平均17.5km)および軽さ(83.7kg)を実現したシステムの開発および実証に成功しました。これは、乗客1人分程度の重量のシステムで約70秒前に乱気流を検知することに相当し、乗客にシートベルト着用を促す時間余裕を生み出すことによって負傷者を6割以上減らすことが可能となる技術です。

大型旅客機への実装実現へ 貴重な機会となる飛行試験

この研究開発成果が米国ボーイング社から高く評価されたことにより、今回のエコデモンストレーター・プログラムにおける飛行試験が実施されました。エコデモンストレーター・プログラムによる飛行試験は、大型旅客機への実装の実現に向けた大手機体製造メーカーの評価を得られる貴重な機会であり、この装置に対するエアラインおよび他の機体メーカーにおける意義や価値を高めることによって、標準化団体および航空規制当局への必要性の認識を促し、標準化プロセスを加速することが期待されます。

JAXA航空技術部門の町田茂ウェザーセイフティアビオニクスグループ　グループリーダは「このエコデモンストレーター・プログラムにおいて、晴天乱気流検知システムを製作した三菱電機株式会社と連携し計画通り飛行試験を実施しました。ボーイング社から、航空機アビオニクスとしての乱気流検知装置と情報提供装置の実用化に向けた評価を得られたほか、航空機への搭載、搭載後の調整および運用に関する技術課題などの知見が得られました」と語っています。

飛行試験担当者。B777f(機体番号 N878FD)の胴体左舷側に当装置から
レーザー光を出すための窓付きフェアリングを取り付けた状態。

ボーイング
ecoDemonstrator PROGRAM(エコ デモンストレーター プログラム)とは

航空機の安全飛行と環境性能の向上を実現するため、さまざまなテクノロジーを実際の航空機に搭載して、飛行試験を行うものです。このプログラムにおける初の飛行試験は、アメリカン航空のボーイング737-800型機を使って2012年に行われました。2012年の初飛行以来、これまでに60種類以上ものテクノロジーを対象とした飛行試験を行ってきました。

2018年のecoDemonstrator PROGRAMは?

FedEx社の大型貨物機(ボーイング777型機)を使って、JAXAの乱気流検知装置を含む30種類以上のテクノロジーをテストする飛行試験です。安全飛行のさらなる向上、より効率的な飛行ルートの確保、そして燃費の改善を目指しています。

Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics

宇宙の進化と生命誕生の謎 天文学の究極の課題に挑む

次世代赤外線天文衛星 SPICA

日本と欧州が共同開発し、2020年代末の打ち上げを目指している赤外線天文衛星SPICA。"宇宙が重元素と星間塵により多様で豊かな世界になり、生命居住可能な惑星世界をもたらした過程を解明すること"を科学目的とする、壮大なミッションが一歩ずつ進行しています。

文：山村 一誠（やまむら いっせい）　宇宙科学研究所 宇宙物理学研究系 准教授

地球から150万km彼方の宇宙天文台となる、SPICAのイメージCG。質量約3,600kg（打ち上げ時）、高さ約5.8mで、H3ロケットでの打ち上げが予定されている。

銀河の進化と惑星系の形成の解明 SPICA（スピカ）に課せられた二つの科学的目的

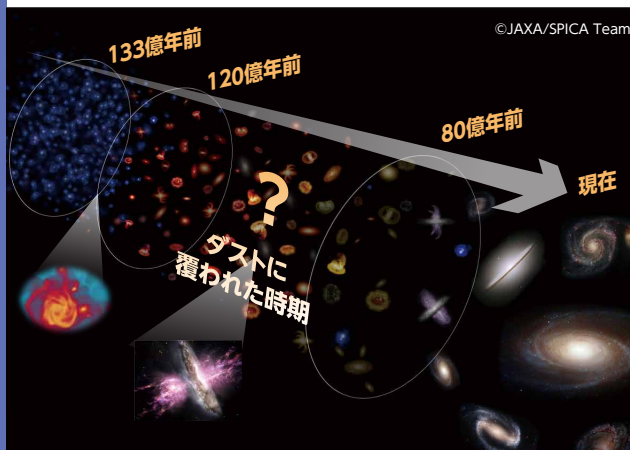
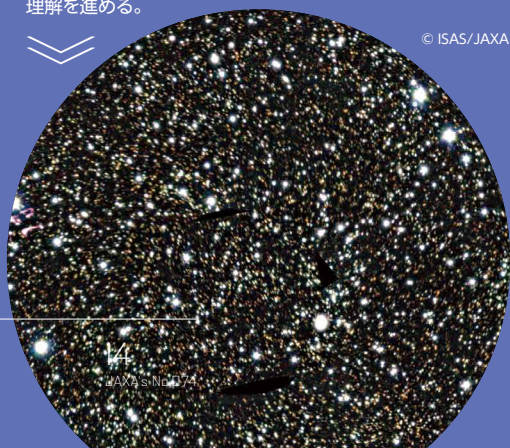
ビッグバンで生まれた直後には水素とヘリウムしか存在しなかった宇宙が、138億年の時を経て生命を育み多種多様な物質が存在する世界へと変貌しました。宇宙がどのように進化し、星、惑星がどのように生まれ、生命が誕生したのか？　この問いに答えることが、天文学の究極の目的だといえるでしょう。

次世代赤外線天文衛星SPICA（Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics）は、この大問題に挑むため、2020年代の打ち上げを目指して日欧で検討が進められているミッションです。

SPICAには二つの具体的な科学目標があります。

一つ目は、われわれの宇宙が物質に富んだ世界になった過程を明らかにすることです。ビッグバンで生まれた直後の宇宙には、ほぼ水素とヘリウムの二種類の元素しかありませんでした。やがて星が生まれ、その中での核融合反応や超新星爆発などによってより重い元素が作られ、宇宙空間に撒かれ、そこからまた星が生まれ……を繰り返した結果、現在のような生命に不可欠な炭素、酸素や金属など多様な元素が存在するようになりました。それにより水や有機物など、生命を形作る原料が整うとともに、惑星を作る材料となる固体微粒子（ダスト）に富んだ宇宙ができあがりました。SPICAは極めて高い感度を生かして、非常に遠方の、すなわち大昔の銀河を観測し、宇宙の歴史の初期に元素合成と物質の形成がどのように進んでいったのかを明らかにします。同時に、このような活動の母体となる銀河がどのように作られ、その中心にあるとされる超巨大ブラックホールとともに成長してきたかを探ります。

二つ目は、惑星系が形成される過程を明らかにすることです。過去20余年の観測の進展により、現在では3000にも及ぶ恒星の周囲に惑星系が見つかっています。しかし、その多くは太陽系とは大きく異な

「あかり」による北黄極領域の画像（一部）。数百回の観測データを重ね合わせて感度を上げ、数十億光年彼方の銀河を1万天体以上検出した。SPICAは、さらに 遠方の銀河も含めて詳細な分光観測を行い、銀河の進化と宇宙初期の物質形成の理解を進める。

SPICAはさまざまな銀河に含まれるダストやガスからの赤外線放射を分析し、宇宙の初期にどのように銀河が生まれ、成長し、それに伴い物質が作られてきたのかを解明する。

©ESA/Herschel/PACS/Bram Acke, KU Leuven, Belgium

ESA(欧州宇宙機関)のハーシェル宇宙望遠鏡による、惑星系形成の名残と考えられるダストの分布。リングの大きさは半径約140au。

星が生まれる環境や、生まれた星をとり囲む原始惑星系円盤に含まれる水素分子や水蒸気などのガスや固体微粒子(ダスト)の性質や分布を調べ、惑星系が作られる様子を明らかに。

る状態にあり、地球のように生命を育むことのできる惑星がいったいどのようにしてできるのかは大きな謎となっています。SPICAでは、惑星系を形成中と考えられる星を観測し、惑星の原料となるガスやダストの成分を調べたり、それがどのように惑星系を作っていくかなどを詳しく調べます。

3種類の観測装置を搭載予定 日本は中間赤外線観測装置 SMIを開発

SPICAは究極のスペース冷却望遠鏡を目指しています。口径2.5mの望遠鏡を絶対温度8度以下(摂氏マイナス265度以下)の極低温まで冷却し、望遠鏡自体が放射する赤外線を極力まで抑えることで、宇宙からの微弱な赤外線を極めて高い感度で検出することを目指します。星や惑星が生まれる比較的低温の環境を探るためには、赤外線が最も適した波長です。

SPICAには3種類の観測装置が搭載される予定です。日本が開発を担当するのは中間赤外線観測装置SMIです。三つの中では一番波長の短い12～36マイクロメートルの赤外線を観測し、星間空間に漂うダストからの放射や、原子、分子ガスからの輝線*[1]を観測します。特に有機物微粒子(多環芳香族炭化水素*[2]、PAH)からの特徴的なスペクトルのパターンを示す強い放射は、星形成を探る手がかりになることから、遠方すなわち過去の宇宙の活動を詳しく探るための鍵になると期待されています。一方、ヨーロッパの大学・研究機関のコンソーシアムは遠赤外線観測装置SAFARIを担当します。波長34～230マイクロメートルの幅広い波長範囲を超高感度で分光観測することにより、遠方の銀河中の電離したガスからの放射や、分子の輝線を観測し、宇宙初期の星形成活動を詳しく調べることが期待されています。さらに、遠赤外線偏光観測装置POLの検討も進められています。

SPICAは、太陽-地球系のラグランジュ点*[3]のひとつ"L2"(実際にはその周りの軌道)から観測を行います。L2は地球から150万km離れていること、また太陽と地球がほぼ同じ方向にみえるため、衛星を温める熱源である地球や太陽の影響を避けやすくなり、効率的に望遠鏡を冷却することができるのです。SPICAは日本で初めてラグランジュ点を利用する宇宙望遠鏡です。L2までこの巨大な衛星を運ぶために、SPICAはJAXAの次期基幹ロケットH3で打ち上げられる予定です。

日本の冷却技術の性能は世界トップ 「あかり」の成果を活かしSPICAへ

SPICAはこれほどまでに巨大なミッションですので、国際協力が不可欠です。SPICAの推進は日欧で並行して進められています。日本では、JAXA宇宙科学研究所が、名古屋大学、大阪大学、東京大学など全国の大学の研究者と協力して計画を推進しています。国家的大型研究計画の候補として、関連学会はもとより文部科学省の「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップ2017」における「推進すべき大型プロジェクト」にも選定されています。ヨーロッパでは、日欧を中心とした多数の研究者で組織するチームが、ESA(欧州宇宙機関)の中規模ミッション5号機へ応募し、今年5月に一次選抜を通過したことが発表されました。応募25件から3件に絞り込まれ、これから約3年間かけてより詳細なミッションの検討を進めた上で、2021年に予定されている最終選抜に臨むことになります。

日本のスペース赤外線天文学は、1995年に宇宙実験・観測フリーフライヤ「SFU」に搭載され、約40日の観測を行った宇宙赤外線望遠鏡IRTSに始まりました。2006年2月に打ち上げられた日本初の赤外線天文学専用の衛星「あかり」(ASTRO-F)は、中間赤外線～遠赤外線の6つの波長帯で空をくまなく観測する「全天サーベイ」を行い、赤外線を放射する星や銀河、また星間空間の物質などの分布を記録した「地図」や「カタログ」を作成したほか、特定の天体・領域の詳細な撮像・分光観測をしました。SPICAはこの延長上にあります。特に、これらのミッションを通じて日本が開発を進めてきた宇宙での冷却技術は、世界的にトップの性能を誇り、SPICA実現のための技術的な要となっています。

ミッションの実現まではまだまだ遠い道のりですが、壮大な宇宙の歴史と生命の誕生の謎に挑むSPICAをぜひご支援ください。

*1 **輝線:** 特定の波長で明るく輝く放射。身近なところではナトリウムランプやネオンサインがある。

*2 **多環芳香族炭化水素:** 炭素原子6つからなるベンゼン環が複数つながった有機化合物。ベンゼン環の数やつながり方でさまざまな種類があるが、いずれも特定の赤外線波長で明るく輝く。星間空間に普遍的に存在することがIRTSによって示された。

*3 **ラグランジュ点:** 地球と太陽からの重力と、遠心力が釣り合う点。この点におかれた物体は、地球と太陽に対して常に同じ位置関係を保つことができる。このような点は5箇所あるが、そのうち太陽からみて地球の外側にあるL2点が、天文観測衛星ではよく使われる。

太陽に一番近い惑星「水星」の謎を解き明かす

国際水星探査計画BepiColombo(注1)の打ち上げが迫っています。水星とはどのような惑星なのか。日本が担当する水星磁気圏探査機「みお」は何を調べるのか。『惑わない星』を連載中の漫画家の石川雅之さんが、村上豪BepiColomboプロジェクトサイエンティストに聞きました。

取材・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

水星近傍を飛行する水星磁気圏探査機「みお」のイメージCG。

村上 豪(むらかみ ごう)
宇宙科学研究所 太陽系科学研究系 助教
BepiColomboプロジェクトサイエンティスト

石川 雅之(いしかわ まさゆき) 漫画家
『もやしもん』で第12回手塚治虫文化賞受賞。
現在『惑わない星』を講談社「モーニング」にて連載中。

日欧2機の探査機で行う初の大規模ミッション

――村上さん、まずBepiColombo(ベピコロンボ)ミッションの概要をご説明ください。

村上　BepiColomboは日本のJAXAとヨーロッパの宇宙機関であるESAが共同で行う水星探査ミッションです。JAXAが担当している水星磁気圏探査機「みお」と、ヨーロッパが担当している水星表面探査機「MPO」の2機をドッキングした形で打ち上げ、水星へ送り込みます。水星に着いてから2機は分離され、それぞれの軌道を回りながら水星を観測するというかなり大規模なミッションになっています。まもなく打ち上げられますが、水星に着くのは2025年末ですから、7年かかることになります。

――ヨーロッパとの共同ミッションになった経緯はどういうものなのでしょうか。

村上　1990年代後半にはそれぞれの機関が水星探査を考えていました。日本は惑星の磁気圏、すなわち惑星が持つ磁場がつくる周辺の宇宙環境を調べることが得意な技術だったこともあり、水星の磁気圏を中心に探査をしたいと思っていました。一方、ヨーロッパでは水星の表面や磁気圏を調べる探査機を考えていたのですが、一つの機関でそれらを全部やるのは予算面でも難しく、一緒に組もうということになりました。

――石川さんは水星について、どのような惑星であるというイメージを持たれていますか。

石川　地上からのイメージがほとんどになるのですが、見えない惑星というイメージですね。一度、夜明け前に水星が見えるチャンスがある日に、マンションから天体望遠鏡で見ようとしたのですが、あっという間に太陽が昇ってきてしまい、見つかりませんでした。金星はすごくよく見えるのに、どうして水星は見えないのかといつも思っています。

村上　そうですね。地球から見ると角度にするとわずか20度ぐらいしか太陽から離れないので、すぐに見えなくなってしまう。

石川　そうなんです。

太陽系惑星誕生の謎を解明する

村上　そういうこともあり、水星はちょっと影の薄い惑星になりがちです。水星の一番の特徴はやはり太陽に一番近い惑星だということですね。大きさは月より少し大きいくらいで、

注1: BepiColombo(ベピコロンボ)の名称はイタリアの天文学者ジュゼッペ・コロンボにちなんでいる(ベピはジュゼッペの愛称)。コロンボは水星の自転周期(58日)と公転周期(88日)が正確に2:3の関係にある理由を解明したことでも知られる。

ギアナ宇宙センターにおいて、打ち上げに向けた最終状態へと結合された「みお」(上部の黒いカバーで覆われている部分)とESAの水星表面探査機「MPO」。

大気はほとんどありません。なぜ金星や火星に比べてあまり知られてないかというと、実は探査が非常に難しい。太陽に探査機を近づけていくのが難しく、これまではアメリカの探査機マリナー10号とメッセンジャーによる2回の探査しか行われていないのです。そのため、分からないことが多く、惑星の中では地味な存在だと思われています。ところがここ10年ほどの間に、水星は思っていたよりもずっと面白い天体なのではないかと科学者は考えるようになってきました。

石川　どのあたりが面白いのですか。

村上　1例をあげると、水星を作っている材料が非常に面白いと考えられています。地球の表面は風化などによってどんどん変わってしまいますが、水星は大気がないので、惑星ができた頃の古い情報が残っていると考えられています。ですから水星を調べると地球ができ上がった頃の情報も得られるのではないかと期待されています。

——水星には金属のコア(核)が非常に大きいという特徴もありますね。これは水星の磁気圏と関係してくると思うのですが。

村上　水星の内部には大きな金属のコアがあります。その金属核が溶けて動いていると、電流が流れ、磁場が作られます。これが惑星の磁場のでき方だと考えられています。水星は小さな天体なので、太陽に近いとはいえ、熱がどんどん逃げて冷えていきます。そのため、科学者は昔、水星はもう冷え固まって磁場はないと考えていました。ところが探査機が行ってみると、磁場があったのです。なぜ水星のコアがいまだに溶けているのか、大きな謎です。

たどり着くのが難しく、観測するのも過酷な水星

石川　水星に行くのはなぜ難しいのですか。

村上　太陽の重力は強いから、太陽に近い水星に行くのは簡単だと考える方が多いのですが、地球から打ち上げられた探査機は、地球がもともと持っている公転のスピードと同じだけ遠心力を持っているのです。その遠心力に逆らって太陽に近づいて行くにはものすごく大きなエネルギーで減速しないといけないのです。探査機の燃料だけでは足りないので、惑星の重力で引っ張ってもらうスイングバイを使います。地球で1回、金星で2回、水星で6回、合計9回のスイングバイをして、ようやく水星にたどり着きます。

石川　水星はすごく熱いのではないですか。

村上　昼は400℃以上になります。日光も地球の10倍くらいの強さです。われわれの探査機「みお」でも熱いところは200℃とか300℃とかになってしまいますが、そういう部分をなるべく絞り、大事な装置は60℃程度までしか上がらないようになっています。「みお」の表面を鏡張りにしているのも、太陽光を少しでも反射して熱を吸収しないようにするためです。一方で、宇宙空間そのものはすごく寒く、−270℃の世界です。なるべく熱が中に入らないように断熱しておき、寒い宇宙空間に熱をどんどん逃がしていく設計になっています。

——水星の磁気圏について、村上さんが特に知りたいと思っていることは何ですか。

村上　惑星の磁場はバリアの役割を果たしています。例えば火星には磁場がないので、太陽風によって大気が失われ、地球と全然違う姿になってしまったと考えられています。惑星が磁場を持つことは、生命を育む上で大事だろうと思われているのです。水星は太陽に近いので、太陽風が強いのですが、磁場は地球の100分の1くらいの強さしかない。それがバリアとしてどのように機能するかを知りたいと思っています。

なぜかというと、今、太陽以外の星のまわりにも惑星が見つかっています。系外惑星と呼ばれていますが、すでにその候補は4000個以上見つかっています。その中にはハビタブルゾーン(生命が居住可能な領域)にある惑星もたくさんあります。一番有名なのはトラピスト1という星のまわりの惑星系です。トラピスト1はみずがめ座の方向にあり、赤色矮星という温度の低い星です。ここのハビタブルゾーンにある惑星はトラピスト1に近いところを回っており、太陽風が非常に強いはずです。そこに生命が存在できるかどうかは、バリアのあるなしが重要になってきます。どれくらいのバリアがあればいいのかは、太陽に近い水星で調べることができます。系外惑星に関する話題が盛り上がってきたのはここ10年くらいで、BepiColomboの計画が始まった頃にこういう話はなかったのですが、今はこれが「みお」の大きなテーマの一つになっています。

7年後に教科書を書き変える発見を

——最後に村上さんに今後の抱負を伺います。

村上　先ほども申し上げた通り、水星はそんなに認知度の高い惑星ではないのですが、まずは皆さんに、チャレンジングな水星探査ミッションが進んでいることを知ってもらえればと思っています。その上で、7年後にはなりますが、教科書を書き変えるような発見をしたい。さらには太陽系の惑星に限らず、系外惑星の生命の存在に通じるような知識も深めていきたいと思います。何としてもこのミッションを成功させたいと考えています。

——石川さんは「みお」に対してどのような期待を持っていますか。

石川　惑星を間近で見ることができるのは、やはりすごいことです。水星のすぐ近くに行って、どんな姿をしているかを教えていただきたい。そうすれば、水星の存在感も強まるのではないかと期待しています。

村上　引き続き応援をよろしくお願いします。

「みお」の前で記念写真を撮るBepiColomboプロジェクト日本チーム

より薄く、より軽く——薄膜太陽電池が日本の宇宙産業の未来を照らす

薄膜3接合太陽電池（セルアレイシート）& 軽量太陽電池パドル

人工衛星や探査機の電源として広く利用されている太陽電池……衛星の高機能化に伴って、今、その軽量化と高出力化が求められています。革新的衛星技術実証プログラムの小型実証衛星1号機に搭載されて軌道上実証を行う新しい太陽電池について、開発を主導してきた今泉充研究領域主幹と住田泰史主任研究開発員に語ってもらいました。

取材・文:山村 紳一郎（サイエンスライター）

重量1/3、体積半分の小型軽量高性能

＞ 大幅軽量化を実現した太陽電池パネルが小型実証衛星1号機に搭載されると伺いました。これは具体的にどのようなものなのでしょうか?

住田　ポイントの第一は「薄膜3接合太陽電池セルアレイシート」で、これまでのリジッド型3接合太陽電池セルよりも高変換効率です。これまで29.5%だったものが32%になっています。3接合太陽電池はインジウムガリウムヒ素を最下層に、3種類の太陽電池を積層して効率的に光を吸収する構造ですが、これを薄膜成長という製造技術を用いて厚さ0.3mmほどの薄膜にしています。薄膜なので超軽量のうえ、柔軟性があるので曲げることができます。この特長を活かして複数枚を貼り合わせてシート化し、薄く軽くて丈夫な構造のフレームに貼って太陽電池パネルを形成しています。

＞ 太陽電池パドル（太陽電池全体の構造体）も軽くなっているのですね。

住田　「軽量太陽電池パドル」が第二のポイントです。セルアレイの軽量メリットを最大限に活かすため、フレーム型パネル、展開用ヒンジ、保持解放機構の全部品を新規開発しました。例えば全体の強度を上げるためにわずかに湾曲させるなど、従来型の太陽電池では実施しにくい手法も用いています。これにより従来の太陽電池パドルに比べ、発生電力あたりの重量で約半

分から3分の1、収納状態での体積は約2分の1という小型軽量になっています。

新太陽電池で国産衛星にアドバンテージを

> なぜ太陽電池にはこのような小型軽量化が必要なのでしょうか。

今泉　よく「宇宙にはコンセントがない」と冗談で言いますが、発電システムは衛星にとって必須要素で、クルマにとってのガソリンのようなものです。太陽の近くや地球周回軌道上では電力源として太陽電池がほぼ100%使われており、万が一の大気圏落下の場合でも、他の発電方法に比べて安全性が高い点が評価されています。

そして、いずれの発電方法でも小型軽量化は極めて重要です。打ち上げロケットの推力が限られますから、発電システムが小型軽量化できれば衛星そのものの機能部分を充実させられる。すなわちペイロード比*1を上げられるのです。

> スラスタ*2も電気推進に変えるオール電化衛星では、さらに発電システムの小型軽量化は重要ですね。

今泉　衛星ビジネスでの競争力を考えると、大きな付加価値になります。当面の課題はコストです。新しい太陽電池は従来のものに比べ、コストは約2倍。まずはこれまでと同じレベルへのコストダウンを目指し、将来的には5分の1ほどで提供できるようにしたい。それができれば、大学やベンチャーなどが開発する小型衛星にもどんどん使っていただけるようになると思います。

> それは日本の衛星ビジネスにとって、大きなアドバンテージですね。

今泉　太陽電池セルやアレイシートはシャープ(株)が、フレームやパドル機構は日本電気(株)が、それぞれ開発を行いました。日本のもの作り力が結集された成果といえます。

電池とパドルを同時並行で開発

> 新型太陽電池パネルにつながる高効率薄膜太陽電池の開発は、JAXAでは10数年の歴史があると伺いましたが……。

今泉　1990年代の後半にアメリカで3接合太陽電池が登場し、宇宙用太陽電池の市場ではそれまでのシリコン型太陽電池に取って代わりました。対抗して日本でも同型太陽電池開発を……という声も上がったのですが、追いかけるのではなく全く新しいものを作っていこうと、薄膜の新規3接合太陽電池の開発を2005年に開始したのです。製造技術である薄膜成長は、いわば素材の結晶を積み上げる技術なのですが、これが難しく、最初は発電力などの基本性能が上げられずに苦労しました。5年ほどかけて性能のめどがついてから、さらに5年かけて歩留まりと信頼性を向上させ、ようやく2015年に世界に先駆けて「高効率薄膜3接合太陽電池」の開発が完了できました。

> その薄膜太陽電池の軽さを活かすフレームを組み合わせて、小型軽量のパドルが完成したのですね。

住田　はい。同時並行で開発を行いました。電池の開発が完了してからパドルに取り組んでいては時間がかかりすぎて、開発競争に遅れをとってしまいます。最初に「薄くて高性能の太陽電池を作る」というテーマを定めた段階で、それを活かす構造のパドルも並行して開発を開始したのです。結果的に約10年かかりましたが、新しい太陽電池セルを用いることに特化した……つまり軽さ、薄さのアドバンテージを最大限に活かすパドルを開発することができました。技術はもちろんですが、将来を見越した「読み」も重要なポイントだと思います。

©JAXA

世界最高レベルの出力質量比（150W/kg超）を実現する、薄膜3接合太陽電池を搭載した軽量太陽電池アレイシート。

©JAXA

強度を上げるため、柔軟性を活かしてわずかに湾曲させている。

軽量太陽電池パドルの軌道上での展開実証が行われる革新的衛星技術実証1号機のCGイメージ。

©JAXA

■従来の太陽電池パネルの構造

■今回実証される太陽電池パネルの構造

この技術でみんながハッピーに

> 今後、利用の広がりが期待されますが、どのような将来の展望をお持ちですか。

住田　まずは宇宙用の太陽電池システムとして、世界中の衛星全てに搭載されるようになっていけばと思います。ヒット商品というと語弊がありますが、世界から注目される製品や技術に育てていきたいですね。

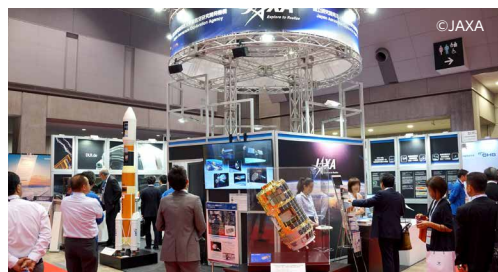
今泉　薄くて軽くて柔軟で振動にも強いという特徴は宇宙以外でも大きな優位点ですから、自動車や航空機、モバイル機器などでの応用も大いに期待されます。世界中のさまざまなところで、より多くの場面で、私たちが開発したこの薄膜太陽電池が使われるようになって欲しいと思います。

住田　使っていただくことで、メーカーも衛星の開発や運用する人も、みんながハッピーになれればうれしいです。それが次の開発につながりますから、私たちにとってもハッピーですね(笑)。

***1 ペイロード比:** 宇宙機の総重量における積載物の重量の比率
***2 スラスタ:** 宇宙機の軌道変換および姿勢制御に用いられる推進システム

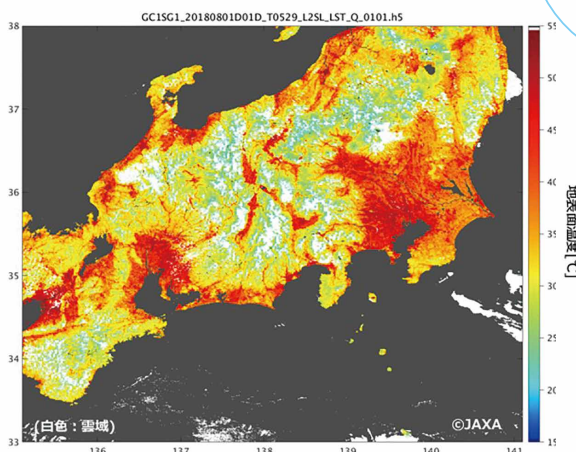
JAXA TOPICS
JAXAトピックス

TOPIC 1 世界の宇宙・航空産業が集まる日本最大の展示会「国際航空宇宙展2018東京(JA2018　TOKYO)」

「国際航空宇宙展2018東京(JA2018　TOKYO)」が、2018年11月28日～30日に、東京ビッグサイト(東7・8ホール)で開催されます。期間中は、国内外の航空宇宙関連企業・関係機関による展示企画やB to B、専門講演・カンファレンスなどが実施され、市場開拓やサプライチェーン強化などの機会となる催しです。前回のJA2016では、約350企業・団体が出展するなど、宇宙・航空産業の展示会としては日本最大の規模を誇るだけに、宇宙・航空産業の最新の世界市場状況が分かるまたとない機会。JAXAも出展しますので、ご来場の際は、JAXAのブースへぜひお立ち寄りください。皆様をお待ちしています。

©JAXA

前回の「JA2016」でのJAXAの展示会場。

TOPIC 2 大都市圏では地表面温度が50度以上！「しきさい」がとらえた日本列島の猛暑

©JAXA

2018年8月1日の10:40頃に観測された地表面温度。

今年の夏は日本各地で過去最高気温を更新するなど記録的な猛暑となりました。「地球環境変動観測ミッション(GCOM: Global Change Observation Mission)」により、2017年12月に打ち上げられ、初期校正検証運用中の気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)の観測でも、この日本列島の酷暑の様子が克明にとらえられました。近紫外～熱赤外の多波長の観測を行うことが可能な「しきさい」ですが、この中の熱赤外の波長帯の観測によって地表面の熱の状態を知ることができます。画像は2018年8月1日の10:40頃に観測された熱赤外バンドから推定した地表面温度です(白色の領域は雲域)。午前中にもかかわらず、すでに地表面の温度が上昇していることがわかります。この日は特に大都市域で地表面温度が50度以上と非常に高温となりました。また、この地表面温度と植生分布を比較して、森林域では日中も比較的温度が高くならずに済んでいることや、「しきさい」の高い解像度により、都市の中の大きな公園や緑地では周囲に比べて地表面温度が低い様子を見ることができるようになりました。将来の気候変動予測の精度を高めるという本来の目的とともに、観測時点での地球環境の状況を把握することにも「しきさい」は日々、力を発揮しています。

TOPIC 3 “有人宇宙ミッションのミエル化”から生まれた書籍『日本の宇宙探検』をPDFで無料公開!

JAXA職員有志による活動“有人宇宙ミッションのミエル化”から生まれた書籍『日本の宇宙探検』(2012年3月初版発行)。より多くの方に読んでいただくために、全編をPDF化し、無料公開することになりました。主に「JAXAとは?」「宇宙について学ぶ」「なぜ、宇宙を目指すのか」「来るべき宇宙探検に向けて」の4つの章から構成され、毛利衛宇宙飛行士や向井千秋宇宙飛行士の特別インタビューも掲載。有人宇宙ミッションの歴史と未来が見えてくる一冊です。PDFは、下記URLか右のQRコードからダウンロードできます。

▶ http://iss.jaxa.jp/kibo/library/fact/data/j_space_exploration.pdf

著:宇宙航空研究開発機構(JAXA)有人宇宙ミッション検討のミエル化チーム

©JAXA

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6 御茶ノ水ソラシティ | TEL:03-5289-3650 | FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/

リサイクル適性Ⓐ この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

VEGETABLE OIL INK